ministère éducation nationale

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

éduSCOL

Ressources pour le lycée général et technologique

Ressources pour la classe de première
Série STD2A

Design et métiers d'art
Physique-chimie

Éco-design et bioplastique

Ces documents peuvent être utilisés et modifiés librement dans le cadre des activités d'enseignement scolaire, hors exploitation commerciale.

Toute reproduction totale ou partielle à d'autres fins est soumise à une autorisation préalable du Directeur général de l'enseignement scolaire.

La violation de ces dispositions est passible des sanctions édictées à l'article L.335-2 du Code la propriété intellectuelle.

Avril 2013

Sommaire

Introduction 2

1. Dossier Matériaux et éco-conception 5

Fiche 1 : lexique éco-matériaux 5

Fiche 2 : développement durable et éco-design 7

Fiche 3 : exemples de produits éco-conçus 12

2. Dossier de la Galalithe au bioplastique 16

Fiche 1 : historique et créations en galalithe 16

Fiche 2 : exemple de recherches élèves de protocoles de fabrication 19

Fiche 3 : exemples de réalisations expérimentales 22

3. Dossier Couleur et échelles de teintes 24

Fiche 1 : lexique de la couleur 24

Fiche 2 : exemples de gammes de couleurs en Design et Arts Appliqués 25

Fiche 3 : couleur et bioplastique, fabrication d'une échelle de teintes 27

Bibliographie et sitographie 33

Sur la question des matériaux 33

Sur la question des matériaux écologique et du développement durable 33

Sur la question du bioplastique, quelques références sur l'état des recherches universitaires théoriques, appliquées et plus dirigées vers le grand public 33

A propos des exemples cités 33

Sur la question de la couleur 33

Introduction

Éco-design, éco-matériaux, développement durable… Ce document explore ces grandes thématiques transversales à travers trois dossiers.

Les documents de chaque dossier sont destinés aussi bien aux professeurs de physique-chimie qu'à ceux de Design et Arts appliqués, soit à titre d'élargissement culturel, soit dans une dynamique d'exploitation disciplinaire. Certaines fiches peuvent être fournies aux élèves (les lexiques par exemple) dans l'une ou l'autre des disciplines. D'autres fiches ne sont qu'informatives pour les professeurs (travaux d'élèves en Design et Arts appliqués, à destination des professeurs de physique-chimie par exemple). Cette dynamique de mutualisation de ressources peut également nourrir les projets interdisciplinaires.

Dans un premier dossier, sont réunies des précisions et réflexions générales sur la question des matériaux et de l'éco-conception, qui s'appuient sur des documents exploitables par les professeurs comme par les élèves, dans les deux disciplines. Ce dossier inclut des précisions lexicales, une présentation des notions de développement durable et d'éco-conception, ainsi que des exemples de produits éco-conçus.

Dans un second dossier, nous vous proposons un focus sur un exemple de bio-matériau facilement réalisable par des élèves, la galalithe. Précurseur des bio-plastiques, la galalithe a été très employée au début du 20ème siècle dans la bijouterie et la boutonnerie notamment. La galalithe retrouve aujourd'hui un intérêt nouveau après des décennies d'oubli dans une logique contemporaine d'économie propre à l'éco-design.

Enfin, dans un troisième dossier et en s'appuyant sur l'exemple de la galalithe, nous vous proposons de réfléchir à la mise en place de protocoles de physique-chimie pour travailler la coloration de la matière. Des exemples de gammes colorées dans des projets de Design permettent de créer des liens directs entre les compétences acquises en cours de physique-chimie et les besoins spécifiques dans un projet d'arts appliqués.

Correspondance avec le programme de physique-chimie :

Dossiers 1 et 2 :

Du monde de la matière au monde des objets

Notions et contenus	Compétences attendues	Classe
Matériaux organiques Le pétrole, principaux constituants ; les dérivés du pétrole. Les agro ressources ; les biomatériaux. […] Monomères et polymères.	- Recueillir et exploiter des informations sur le pétrole et ses dérivés et sur les agro-ressources et les bio matériaux : matériaux, produits, procédés, usages, recyclage. […] - Nommer et écrire la formule de quelques polymères d'usage courant : PE, PS, PVC, nylon-6,6. - Différencier les deux grandes voies d'obtention des polymères : polymérisation par addition, par condensation. (polyesters, polyamides, cas du kevlar). - Écrire l'équation d'une réaction de polymérisation; expliciter les indications fournies par l'indice de polymérisation. - Réaliser la synthèse d'un polymère.	**1**

Les grandes classes de matériaux plastiques ; formulation. […]	- Comparer les principales propriétés des thermoplastiques et des thermodurcissables. - Citer des procédés de fabrication d'objets plastiques en donnant des exemples. - Citer des techniques de coloration des matériaux plastiques. - Citer des agro ressources dont sont issus des bioplastiques. - Réaliser des tests de reconnaissance de matériaux plastiques. - Citer les produits de la réaction de combustion d'un matériau plastique et les risques résultants. - Recueillir et exploiter des informations sur le passage d'un polymère à des plastiques aux usages différents : les adjuvants. (Exemple du PVC) […]	**1**
Matériaux composites ; matériaux minéraux ; agro-matériaux et matériaux renouvelables	- Citer le principal constituant du verre minéral et préciser le sens du mot « amorphe ». - Citer des exemples d'ajouts de métaux ou d'oxydes permettant d'obtenir des verres colorés. - Préciser ce qu'on entend par verre électro chrome, verre thermo chrome. - Donner la constitution d'un miroir. - Définir un verre organique. Citer une application possible en DAA. - Citer un matériau composite en expliquant sa constitution et en précisant des usages possibles. - Définir une céramique. Citer une application en DAA. - Définir un alliage à mémoire de forme. - Citer des agro-matériaux en présentant des usages possibles en DAA de préférence à des matériaux traditionnels.	**T**

Dossier 3 :

Voir des objets colorés, analyser et réaliser des images

Notions et contenus	Compétences attendues	Classe
Couleurs et peintures Les constituants d'une peinture : pigments, colorants, solvants, formulation. […]	- Expliquer la différence entre pigments et colorants. - Mettre en évidence le rôle du pH, de l'humidité, de la lumière d'exposition sur la couleur d'un pigment ou d'un colorant. - Classer les différents types de peintures en fonction du solvant utilisé. - Expliquer le mécanisme physico-chimique de séchage d'une peinture. - Établir la liste des principaux autres constituants d'une peinture : charges, liants, agents siccatifs, additifs. - Citer les règles d'utilisation raisonnée des solvants de nettoyage des peintures ; citer des produits de substitution. - Illustrer l'utilisation d'un colorant à la teinte d'une fibre textile synthétique. - Interpréter la couleur d'un mélange obtenu à partir de matières colorées. […]	**T**

1. Dossier Matériaux et éco-conception

Documents exploitables professeurs/élèves

Fiche 1 : lexique éco-matériaux

Sources :

- l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) ; www2.ademe.fr
- lexique de l'exposition « Matières à cultiver », Cité du Design
- www.alembal.com
- lexique de l'exposition « Emballages alimentaires, l'innovation est dans la boîte ! », Musée des Arts et Métiers ; http://emballages.arts-et-metiers.net

Matières plastiques : les matières plastiques sont des polymères de synthèse, c'est-à-dire, issus de l'action de l'homme. La plupart des matières plastiques sont issues de la pétrochimie et donc proviennent de ressources hydrocarbures. Néanmoins, le terme matière plastique est communément utilisé pour d'autres polymères fabriqués à partir de ressources renouvelables, comme le caoutchouc, l'acétate de cellulose...

Matières renouvelables : les matières renouvelables sont des matières exploitables de telle manière que leurs réserves ne s'épuisent pas. Leur vitesse de formation doit donc être au moins aussi rapide que leur vitesse d'utilisation.

Par exemple, le pétrole n'est pas une matière renouvelable puisque ses ressources sont consommées à une vitesse bien supérieure à celle de sa création naturelle.

Biodégradable : se dit d'un produit qui peut, sous l'action des micro-organismes (bactéries, champignons et/ou algues), de l'humidité, de l'oxygène et de la chaleur, se décomposer, se dégrader, et devenir bio-assimilable. Lors de la dégradation, les liaisons entre atomes sont brisées et réorganisées. Le résultat de cette dégradation est la formation d'eau, de CO_2 (dioxyde de carbone) et d'autres petites molécules non toxiques pour l'environnement.

Recyclable : se dit d'un déchet qui peut être réintroduit directement dans le cycle de production en remplacement partiel ou total d'une matière première neuve.

Agromatériaux : les agromatériaux sont composés majoritairement de matières premières d'origine agricole, en particulier de fibres et de biopolymères naturels (amidon, cellulose...) ou de polymères synthétiques. Citons par exemple les fibres de chanvre ou de lin, qui peuvent remplacer la laine de verre dans le bâtiment.

Biomatériaux : ils sont issus des produits et sous-produits des céréales (amidon, gluten), oléagineux et protéagineux (protéines) ainsi que des plantes fibreuses (cellulose) ; ils permettent de fabriquer des biopolymères (films et emballages) et des agromatériaux composites (revêtements, garnitures automobiles, isolants, etc.).

Les biopolymères sont des matériaux renouvelables et biodégradables qui offrent une alternative aux matériaux plastiques d'origine fossile tels que emballage de calage, sac de collecte des déchets, sac à compost, barquette alimentaire, film alimentaire...

Bioplastique : le terme de bioplastique désigne différentes matières plastiques issues de ressources renouvelables, telles que le maïs, la patate douce, le blé, la canne à sucre ou l'huile de ricin. Même si cette définition est aujourd'hui privilégiée, le nom de « bioplastique » peut être utilisé pour désigner deux réalités distinctes :

- les plastiques issus du monde végétal, fabriqués à partir de ressources renouvelables et compostables ;
- les plastiques biodégradables qui peuvent être d'origine fossile ou issus de ressources renouvelables.

Les bioplastiques sont un sujet de recherche très actif dans la recherche fondamentale comme dans la recherche appliquée. Ils permettent d'ores et déjà de fabriquer un large éventail de produits : emballages et sacs poubelles biodégradables, rasoirs jetables, couettes, oreillers et moquettes, coques pour téléphone ou ordinateur…

Le bioplastique ne représente actuellement que 0,2% du marché européen du plastique mais devrait connaître une forte croissance, en raison de l'augmentation des prix du pétrole et des obligations de recyclage et de respect de l'environnement. Ces polymères d'origine végétale pourraient représenter de 5 à 10% des emballages et films d'ici 2015.

Le principal intérêt du bioplastique comme produit de substitution aux plastiques issus du pétrole est son caractère renouvelable. Pourtant, les bioplastiques ne font pas l'unanimité. La consommation d'eau, de pesticides et d'engrais lors de la phase de production des matières premières agricoles pourrait en effet poser problème. Par ailleurs, ces matériaux alternatifs ne doivent pas occulter l'importance d'une réduction à la source, d'une réutilisation et d'un recyclage des matières plastiques.

Compostable : se dit d'un produit qui, après usage, peut être dégradé, dans des conditions contrôlées, en produit stabilisé, riche en composés humides : le compost. Ce compost est particulièrement intéressant pour enrichir les terres cultivées.

Deux phénomènes se succèdent dans le processus de compostage :

- une décomposition (à température relativement élevée, de 50 à 70 °C) de la matière organique en compost frais,
- une dégradation (à température plus basse, entre 35 et 45 °C) du compost frais en compost mûr, riche en humus

Les biopolymères et les déchets alimentaires sont compostables. Grâce à l'exploitation du dégagement de chaleur ou de gaz issus de la dégradation bactérienne, le compostage est une source d'énergie alternative intéressante.

Fiche 2 : développement durable et éco-design

Le développement durable

Le développement durable/ Monde d'aujourd'hui/ Sylvain Allemand

L'idée de développement appliquée aux pays est relativement récente. Elle apparaît au 18ème siècle en Grande-Bretagne, et plus généralement au 19ème avec la révolution industrielle et la mécanisation des modes de production. Avant, les hommes produisaient essentiellement pour subvenir aux besoins. La révolution industrielle a permis d'augmenter la richesse des pays, notamment grâce au commerce, et d'améliorer ainsi les conditions de vie de la population. Depuis deux siècles, les hommes ont produit plus de richesses que durant les millénaires qui les ont précédés.

Cependant, ce développement est inégalement réparti sur la planète, les modes de productions industrielles ont un impact sur l'environnement, la surexploitation de nos ressources naturelles non renouvelables (eau, pétrole, gaz) est notamment une menace pour l'avenir des générations futures.

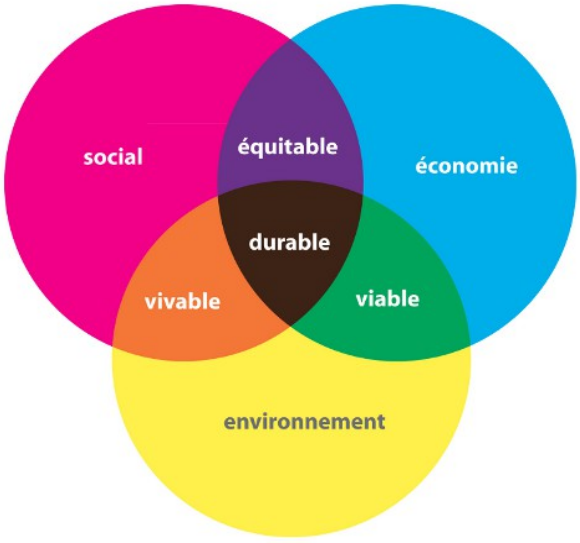
En réponse à ces grands constats, au sommet de la Terre (Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, Rio de Janeiro, 1992) est né le terme de développement durable. Avant, on parlait déjà d'écodéveloppement (conférence des Nations Unies sur l'environnement humain, Stockholm, 1972).

Aujourd'hui, les initiatives pour mettre en place le développement durable ne manquent pas : commerce équitable, tourisme responsable, autre conception de nos modes de consommation et de déplacement (éco-conception, éco-design), économie solidaire (réintroduire dans l'économie le principe de solidarité avec les générations présentes et futures).

L'agenda 21 : pour que le développement durable ne reste pas qu'une idée abstraite, les états se sont dotés d'une sorte de mode d'emploi pratique. En 1992, lors du Sommet de la Terre de Rio, 173 pays (sur les 200 que compte la planète) adoptent l'Agenda 21. Il s'agit d'une déclaration qui fixe un programme d'action pour le 21ème siècle. En 40 chapitres, cet agenda 21 propose des stratégies et des conseils dans plusieurs domaines d'action :

- le commerce équitable (un nouveau mode de vie) ;
- une industrie responsable (une réflexion citoyenne) ;
- un mode de vie durable.

La notion de développement durable repose sur trois piliers, c'est-à-dire trois objectifs fondamentaux : continuer à produire des richesses pour satisfaire les besoins de la population mondiale (pilier économique), veiller à réduire les inégalités à travers le monde (pilier social), et cela sans dégrader l'environnement que les générations futures recevront en héritage (pilier environnemental).



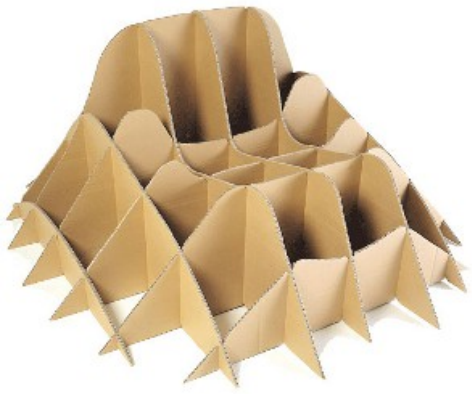
Crédit image : Elisabeth Néré

Eco-design, une brève présentation

Extrait de cours Elisabeth Néré Céline Mallet

Les cycles de la Nature/ le cycle de vie de l'objet industriel

Les temps de la nature s'organisent sous forme de cycles de durées diverses qui régulent son existence. Ces cycles entraînent un flux continu de transformation de la matière : la matière n'est jamais détruite mais convertie, la fin d'une matière donnant la possibilité à une autre de croître. La vie assure ainsi sa continuité, métamorphosant ses propres déchets en nouvelles réserves, comme dans la chaîne alimentaire.



Fauteuil Terra/ design Nucléo/ 2002 Assemblage de plaques de carton biodégradable, distribué avec une boîte de semence de gazon.

(Dimensions : à plat/ 120 x 64 x 7 cm, monté/ 120 x 120 x 60 cm). Le siège se fond dans le cycle de la nature, le carton de la structure se dégrade naturellement pendant que pousse le gazon sur la motte de terre érigée en fauteuil

La croissance de l'économie et avec elle, celle de la production industrielle sont en revanche de type linéaire . Elles appellent constamment de nouvelles matières premières dont la destruction n'est suivie

- d'aucun renouvellement. Il s'ensuit un double déséquilibre :
- en amont, un épuisement des ressources naturelles ;
- en aval, une augmentation croissante des déchets issus de la production industrielle comme de la consommation.

Objet et société de consommation/Questionner nos besoins réels

Extrait de cours Elisabeth Néré Céline Mallet (suite)

Les catastrophes écologiques sont à mettre en parallèle avec l'accélération de la consommation. La société de consommation qui naît dans les années 60 entraîne de nouveaux comportements. En jouant de la séduction pour créer de la demande, on cherche moins à produire pour répondre à un service qu'à créer un besoin : il s'agit de faire naître chez le consommateur de manière artificielle une insatisfaction. Ce processus est soutenu par l'accélération des changements technologiques (où le produit rapidement désuet est remplacé par une génération améliorée) et par la créativité publicitaire. Symbole de cette société : l'objet jetable.

Dès les années 70, le designer Victor Papanek dénonçait dans son livre « Design pour un monde réel » un design manipulateur de notre vie quotidienne. Il invite le designer à se questionner sur nos « besoins réels »… et à prendre ses responsabilités : il est du devoir comme du pouvoir du designer de préserver l'environnement en repensant la conception comme l'utilisation des produits.

Dans cette optique, le challenge ultime pour le design du 21ème siècle est d'éviter ou de minimiser les effets néfastes de la production industrielle sur l'environnement. Et donc aussi d'éduquer comme d'informer le consommateur, de changer son comportement face aux produits, aux objets.

Les principes de l'éco-design

L'éco-design se présente ainsi comme une démarche de conception qui vise à minimiser les impacts sur l'environnement d'un produit tout au long de son cycle de vie. Il s'agit de prendre en compte l'ensemble des étapes du cycle de vie des matériaux, produits ou procédés, de leur fabrication à leur utilisation.

L'éco-conception est donc une approche multiple, que l'on peut décomposer en plusieurs phases :

- Matières premières/utilisation de matériaux recyclés ou recyclables + économies de ces mêmes matériaux.
- Fabrication/utilisation de technologies « propres », c'est-à-dire non toxiques ou polluantes (soleil, vent, eau) ; il s'agit encore d'éviter les énergies non-renouvelables comme les énergies fossiles (fioul) et de réduire la consommation d'énergie.
- Distribution/amélioration du conditionnement par la diminution du volume et de la masse.
- Utilisation/augmentation de la durée de vie des objets. Il s'agit ici de lutter à la fois contre l'effet de mode, mais aussi de penser la fin de vie d'un objet. Il faut alors éviter l'effet « jetable » en pure perte : le design écologique aura pris soin de penser la séparation de ses composants (produits/matériaux/services) afin que ces derniers puissent réintégrer un autre cycle de vie.

Les principes de l'éco-design peuvent être encore résumés par ces trois termes :

- Reduce (réduire)

Fold cutlery/ *William Warren/ 1997 découpe laser sur acier inoxydable*

- **Reuse** (réutiliser)
- **Recycle** (recycler)

Rag chair/ *Tejo Remy pour Droog Design/ 1991_ Chiffons, bandes d'acier- 60 x 60 x 110 cm*

Banc de jardin/ *Jurgen Bey pour Droog Design/ 1999 Des résidus végétaux (herbes coupées et sèches, feuilles et autres brindilles) sont compressés dans des containers. Après usage, la matière de ces meubles biodégradables peut devenir compost*

Culture critique, culture d'idées : de l'objet manifeste vers une intégration de la problématique écologique.

Extrait de cours Elisabeth Néré Céline Mallet (suite)

On note qu'une partie de ce design a consisté depuis quelques décennies à produire des objets manifestes, c'est-à-dire des objets qui sont moins à utiliser tels quels qu'à lire et à comprendre. Le message est alors ce qui compte le plus. Entre le bricolage et l'artisanat, ils incitent le consommateur à regarder autrement son environnement proche, et à ne plus le subir en devenant acteur-créateur : le détournement, la réappropriation sont encouragés. Très loin des manipulations de la mode et de l'effet jetable, c'est là une manière de nous responsabiliser au quotidien tout en revalorisant notre rapport aux objets. Dans le même temps, ces créations ainsi que le contexte économique et écologique ont forgé des générations nouvelles de designers soucieux de généraliser les questions soulevées par l'éco-design et de les introduire à différents niveaux dans leurs créations.

Chest of drawers (Commode de tiroirs)/ Tejo Remy pour Droog Design/ 1991_ Sangle et tiroirs récupérés

Fiche 3 : exemples de produits éco-conçus

Téte Knecht Designer

www.teteknecht.com Objets en paille et en latex. Sabot / 2005

Couverture du magazine Abitare n°456 – décembre 2005.

Les étapes de fabrication des sabots en paille et latex.
Photos Andrés Otero

« La part des anges » une exposition de Duende collective

En collaboration avec la cuisine - centre de création art et design appliqués à l'alimentation - et le laboratoire de chimie agro-industrielle de Toulouse, médiathèque de Nègrepelisse. 2008

La part des anges est une exposition d'objets « réévaluant les premiers pas alimentaires humains d'abord intra-utérins via le placenta, puis extra-utérins via le lait maternel. » Les designers de Duende Collective ont proposé des objets qui consistent à « renouer avec les rites perdus accordant un statut d'accompagnateur presque humain au placenta : enfouissement, momification, consommation.

D'autres designers ont axé leurs recherches sur des objets permettant de figer le moment éphémère de l'allaitement via la création d'une nouvelle pierre précieuse : la perle de lait maternel. » Vous pourrez ainsi découvrir quatre séries d'objets :

- « Contenants pour placenta « Angel dust » »
- « Urne à placenta « Angel dust memory » »
- « Art de la table pour repas cannibale temporaire »
- « Bijoux perle de lait »

Perle de lait François Bauchet / Duende collective (2008) Boucle d'oreilles Oncle John / Duende collective (2008)

* La part des anges est un terme de vigneron. Il désigne la part d'évaporation nécessaire au bon vieillissement du vin et des alcools purs. Cette part perdue est offerte aux Anges qui gèrent à ce jour la plupart des activités gazeuses de notre culture. Elle induit la nécessité du sacrifice pour l'obtention d'un nectar vinicole ou humain.»

Diamant de lait

«La technique des agro matériaux permet la fabrication d'un plastique de lait humain (et animal, traditionnellement le lait de vache) en solidifiant la caséine (protéine). Cette gamme de bijoux «Perle de lait» imagine donc la création d'un nouveau service dans le secteur des objets de naissance : la mère envoie une dose (un biberon) de son lait à une société réalisant ce plastique de lait pour obtenir cette nouvelle pierre précieuse, puis la fera monter en pendentif, ou tout autre forme de bijoux.»

Camée de lait/ Cécile Fricker / Duende colective (2008)

Le laboratoire de chimie agro-industrielle LCA/CRT-CATAR

Extrait d'un texte de Christine Raynaud et Antoine Rouilly présentant la collaboration entre le Laboratoire de chimie agro-industrielle et la cuisine

« Depuis près de dix ans, le LCA conduit des travaux de recherche et de développement sur les agro-matériaux. Ces derniers s'obtiennent par transformation directe de matières végétales, sans ajout de polymère ou résine synthétique et sans modification chimique, tout en utilisant les technologies existantes de mise en forme des plastiques. Ainsi, en utilisant les propriétés plastiques des polymères naturels, pratiquement tous types de formes sont accessibles et en fonction de la matière première utilisée, l'apparence et les propriétés du matériau peuvent être modulées. L'apparence des objets demeure certes assez brute et les propriétés des matériaux sont bien inférieures à celles des plastiques synthétiques mais ils ont un toucher et une odeur particuliers et sont complètement biodégradables. Un bon résumé pour les définir, puisqu'ils sont pour la plupart fibreux, est de dire qu'ils se situent à mi-chemin entre le bois et le plastique.

Dans le contexte économique actuel et en raison de leur relative nouveauté, en termes de propriétés, d'apparence, de mise en forme, les agro-matériaux se trouvent cantonnés à des marchés de niches. Pour les promouvoir, les améliorer, les inventer, il est apparu pertinent de les aborder sous un autre angle que celui de l'industrie et de la substitution de matériaux existants : le passage par le design a semblé naturel et évident.

La cuisine, dans sa volonté de faire collaborer artistes, chercheurs et professionnels du secteur agro-alimentaire, dans le cadre de son programme de résidences de designers, a contacté le laboratoire pour envisager un partenariat. Après avoir fait le tour des multiples activités du laboratoire, ces nouveaux matériaux se sont imposés comme vecteur idéal d'un travail commun. Ils constituent à la fois un créneau porteur pour la recherche et une matière formidable pour le design, en particulier pour des projets liés à la table.

Voilà comment est née une collaboration, qui, nous l'espérons tous, ne fait que commencer. »

Se vêtir avec du lait le Qmilch

www.qmilk.eu

Source : http://mediacenter.dw.de/english/search/anke+domaske

Étudiante en biochimie devenue designer de mode, Anke Domaske a mis au point une technique pour fabriquer des tissus à partir de la caséine du lait. Il en résulte une matière à la fois écologiques et saine pour la peau.

La designer Anke Domaske – Photo : Qmilch GmbH

Extrait de blog, Publié le janvier 4, 2012 par Andre Dumont :

L'Allemande Anke Domaske, 28 ans, a créé le Qmilch. Q pour qualité et *milch* pour lait en allemand. Ce matériau à base de caséine – une protéine laitière – a la douceur de la soie, tout en pouvant être porté, lavé et plié aussi facilement que du coton.

Il aura fallu deux ans d'essais et d'erreurs dans un laboratoire, pour en arriver à un produit satisfaisant. Le processus consiste à réduire le lait en poudre de protéine, pour ensuite la bouillir et la presser en fils qui peuvent être tissés en une étoffe. Le produit final peut être fin et luisant, ou plus grossier, selon les besoins.

À ce jour, le Qmilch est fabriqué à partir de lait biologique qui ne répond pas aux standards de qualité et qui ne peut donc pas être consommé.

Anke Domaske a eu l'idée de créer un tissu sain pour la peau en voyant son beau-père souffrir de problèmes cutanés alors qu'il subissait des traitements pour le cancer. Trop de gens ont des irritations de la peau attribuables à la composition des vêtements qu'ils portent, affirme-t-elle.

Le Qmilch ne contient aucun produit chimique, alors que les tissus synthétiques et naturels peuvent en contenir des dizaines, qui se libèrent peu à peu et peuvent irriter la peau.

Ce nouveau matériau aurait aussi des propriétés hypoallergéniques, antibactériennes et antivieillissement, en raison des acides aminés contenus dans la caséine. Il aiderait aussi à réguler l'humidité de la peau.

Le Qmilch coûte encore plus cher que le coton biologique, mais Anke Domaske croit qu'il trouvera preneur en faisant valoir son côté écologique. Il faut deux litres d'eau pour fabriquer un kilogramme de Qmilch, tandis qu'un kilogramme de tissu fabriqué à partir de coton peut en requérir 10 000 litres.

Pour une robe en Qmilch, il faut environ six litres de lait. N'ayez crainte : aucune odeur de lait ne s'en dégage et elle pourra être lavée à la machine, comme n'importe quel autre vêtement.

Cette bonne idée a valu à Anke Domaske un prix d'innovation de la Textile Research Association de l'Allemagne. La jeune designer de mode a lancé sa propre ligne de vêtements, qu'elle a nommée Mademoiselle Chi Chi, ou MCC. Ils sont fabriqués dans un studio près de la gare centrale à Hanovre.

Déjà, d'autres entreprises s'intéressent à ce matériau, pour la fabrication de sièges d'eau ou de matériaux hypo allergènes pour les lits d'hôpitaux et d'hôtels. Tant qu'à y être, pourquoi pas des vêtements à porter à l'étable, quand on trait ses vaches… »

2. Dossier de la Galalithe au bioplastique

Documents pour les professeurs et exemples de fiches exploitables en cours

Fiche 1 : historique et créations en galalithe

Matériau artificiel protéique : la galalithe

Origines

Extrait de : Thèse Chimie Physique / Méthodologies spectroscopiques pour l'étude de matériaux : objets du patrimoine de la fin du 19ème au début du 20ème siècle. / Céline PARIS / Université Paris 6 / 2004

« La galalithe est une matière plastique artificielle fabriquée à partir d'une macromolécule naturelle : la caséine du lait. La caséine est un agglutinant de toute première qualité. Aussi a t- elle été utilisée dans de nombreux mélanges, avec le papier ou la sciure de bois, en tant que liant ou comme matière de base de matériau [Fritsch, 1926a]. Mais ce type de produits a rapidement été rejeté au profit de la galalithe. Le principe de fabrication de cette matière plastique est essentiellement fondé sur l'insolubilisation de la caséine par le formol, réalisée par un ensemble d'opérations délicates, dont beaucoup de détails ne sont pas mentionnés avec précision dans les brevets. A ce propos, Fritsch écrit : «Les puissantes sociétés qui exploitent ces brevets ont travaillé pendant de longues années pour amener leurs produits au degré actuel de perfectionnement, et il n'est nullement de leur intérêt de révéler au public les voies et moyens qu'elles ont employés pour arriver au succès». Le formol est produit à un niveau industriel dès 1891 par le chimiste français M. Trillat, mais, bien qu'il ait réalisé en 1893 des plaques de caséine durcie par le formol, les applications se limitent alors à la production de paillettes. C'est A. Spitteler, l'inventeur de la galalithe qui, le premier, propose d'utiliser de la caséine déminéralisée, c'est-à-dire débarrassée des phosphates qu'elle contient, pour obtenir un plastique transparent (brevet allemand daté de 1891). En 1904, la firme Schering produit les premiers objets en caséine insolubilisée par le formol, mais le matériau obtenu alors manque de transparence et imite mal les matières naturelles. La galalithe est le nom générique donné à une masse plastique à base de caséine déminéralisée fabriquée industriellement, notamment par la Compagnie Française de la Galalithe (brevet français n°332.554,). C'est le terme que nous utiliserons par la suite. Cependant, d'autres noms ont été employés. L'érinoïd est une galalithe d'origine anglaise (Erinoïd Ltd), et la sicalithe a été produite par la Société Industrielle du Celluloïd, en France (brevet anglais n°224.672). La casoïde est aussi une sorte de galalithe dont on ignore l'origine. Il existe un très grand nombre de brevets français ou étrangers qui ont décrit des masses plastiques à base de caséine à laquelle sont ajoutés des matières minérales ou divers produits organiques comme le borax, le marbre en poudre, l'alun de potassium, la potasse caustique, les silicate de soude, l'albumine de sang, l'huile de lin, ... Tous ces brevets ont laissé autant de matériaux à base de caséine comme la lactite, la lactite-lactoide, la lactitis, la cornalithe, la casélith (Le Casélith National), la casolith (Hollandsche Casolithwerken, Pays-Bas) et la zoolite (Polenghi & Lombardi, Italie).

Á Oyonnax, en France, site de production de peignes et brosses, une matière plastique caséineuse additionnée d'urée a été brevetée en 1914 (brevet français n°472.192, 14 mai 1914). D'autres brevets, américains et français, datés de 1890 à 1902, proposent des masses plastiques à base de caséine, additionnées de borax, ou de matières cellulosiques. Tous ces matériaux décrits par brevets ne semblent pas avoir été produits à un niveau industriel. Par contre, on trouve dans des catalogues de vente des grands magasins parisiens des objets tels des peignes et lunettes, de la brosserie, tabletterie ou bijouterie (bracelets, colliers, boucles d'oreille) fabriqués en héliogalith ou lactolithe (catalogues Aux Galeries Lafayette et Au Louvre, 1921, 1922, 1923). Souvent un autre terme est utilisé pour désigner le matériau des objets : gala. Enfin, on retrouve aussi dans ces catalogues l'appellation galalith plutôt que galalithe

Propriétés et utilisations

La galalithe possède des propriétés remarquables. Elle est insoluble dans de nombreux réactifs, tels l'alcool et l'éther. Elle est ininflammable et possède une grande résistance à la chaleur : une température de plus de 150°C maintenue pendant plusieurs heures ne l'altère pas. De plus, son prix de revient peu élevé en fait une matière rentable pour diverses applications industrielles. Elle imite la corne et surtout l'écaille, plus chère. Bien que la véritable galalithe soit faite avec de la caséine déminéralisée, la caséine brute a néanmoins été employée pour certains articles opaques et bon marché. En France, c'est à partir de 1905 que l'on trouve quelques objets fabriqués en galalithe, comme des éventails ou des accessoires de bureau (coupe- papier, porte-plume). Puis, à partir de 1910, la galalithe est principalement utilisée en mercerie pour la fabrication de boutons. Elle imite encore l'écaille, mais un large panel de couleurs est aussi proposé. Plus tard, à partir de 1918, les applications de la galalithe se diversifient. Il est possible d'acheter des épingles à chapeaux dans toutes les nuances de couleurs, des anneaux de bourses, des fermoirs de sacs et des garnitures de dragonne sont proposés en galalithe, ainsi que des manches de parapluie et des bracelets (catalogues Bon Marché, 1905 à 1920).

Structure et procédé de fabrication

La caséine se trouve dans le lait (environ 30 grammes de caséine par litre de lait). C'est une phosphoprotéine de petite taille (environ 200 acides aminés), qui constitue une forme de réserve de phosphore et d'acides aminés. Pour extraire la caséine du lait, il faut la précipiter. Pour ce faire, trois techniques sont possibles*. La première méthode consiste à ajouter au lait un ferment provenant de la présure présente dans l'estomac des jeunes ruminants. La caséine obtenue, appelée caséine-présure ou caséine brute, contient les phosphates naturels du lait sous forme de complexe (caséine-phosphate de calcium). La présence de ces sels minéraux assure la plasticité de la future galalithe. Les deux autres méthodes de précipitation conduisent à une caséine sans phosphates, dite déminéralisée. Elles consistent à augmenter l'acidité dans le lait, soit en le laissant fermenter naturellement, soit en ajoutant un acide. On obtient alors de la caséine-lactique qui ne contient pas de phosphates. La galalithe préparée avec cette caséine est plus cassante qu'avec la caséine-présure, quelle que soit la technique d'extraction utilisée. La caséine est ensuite broyée, séchée et commercialisée sous forme de poudre.

La préparation de la galalithe peut s'effectuer par voie humide ou par voie sèche. La production par voie humide était utilisée aux débuts de la fabrication de la galalithe, mais les produits obtenus étaient particulièrement cassants.

C'est donc la voie sèche qui a été adoptée par la suite. Dans ce procédé, la poudre est préalablement triée pour la débarrasser des corps étrangers, et tamisée pour ne garder que des grains de taille moyenne. On forme ensuite une pâte en ajoutant de l'eau à la poudre de caséine. C'est à cette étape de la fabrication que l'on ajoute les colorants ou les charges. La plastification et la mise en forme de cette pâte se fait à une température de 50°C en moyenne, soit par boudineuse (production de bâtons, joncs ou tubes), soit par pressage ou laminage (production de plaques), suivant la forme du produit final désiré. Une fois cette mise en forme terminée, la matière est rendue insoluble à l'eau en trempant la caséine dans un bain de formol. Le formol réagit avec les groupements amine de la liaison peptidique de la caséine et forme ainsi des liaisons intra et inter moléculaire entre les chaînes polypeptidiques de caséine.

Suivant la concentration en formol dans le bain, la matière sera plus ou moins lente à durcir : plus le bain est dilué, plus la matière est lente à durcir, mais elle durcit alors uniformément. C'est l'étape la plus importante et la plus délicate de la fabrication de la galalithe. La moindre variation de concentration du bain de formol ou de temps de trempage peut influer sur le résultat final. Après le formolage, la galalithe est séchée. »

* Trois méthodes : par fermentation provoquée par la présure de ruminants, par fermentation naturelle et par acidification par ajout direct d'un acide dans le lait.

Exemples de créations en galalithe (1920-1930)

Création Jakob Bengel

Création Auguste Bonaz

Jakob Bengel

Jakob Bengel

Fiche 2 : exemple de recherches élèves de protocoles de fabrication

Crédit photographique : Joëlle Lenglet

Comment fabriquer un bioplastique avec du lait et du vinaigre ?

En 1889, un chimiste français Auguste Trillat travaille sur la coagulation du lait, mais son invention passe inaperçue en France. Le brevet de fabrication est déposé en 1897 par deux allemands A. Spitteler et W. Hirsche qui nomment cette matière galalithe (de gala « lait » et lithos « pierre »). La galalithe devient un des tous premiers plastiques.

C'est à partir de 1918 que commencent la fabrication et l'utilisation de ce plastique pour la réalisation d'articles comme des boutons, des bijoux fantaisie, des boîtes, des fume-cigarette ou encore des stylos. Mais la fabrication de la galalithe demande du temps, la durée de l'opération est de quinze à vingt jours... Après la dernière guerre et avec l'apparition des matières plastiques moulées, la galalithe, devenant trop coûteuse, disparaît du marché au profit de la bakélite. Il ne reste que quelques rares artisans pour l'utiliser aujourd'hui. Pourtant, elle offre de nombreux avantages. La galalithe peut supporter sans altérations le contact de l'huile, de l'alcool, de l'éther. Elle est pratiquement incombustible et possède une grande résistance à la chaleur : une température de plus de 150 °C maintenue pendant plusieurs heures ne l'altère pas. Elle possède des propriétés isolantes utilisables en électricité. Elle est aussi biodégradable, antistatique et ne provoque aucune allergie. La galalithe, qui peut s'obtenir en augmentant l'acidité du lait, a actuellement un prix de revient faible ; ce matériau pourrait tout à fait entrer en concurrence avec les plastiques modernes.

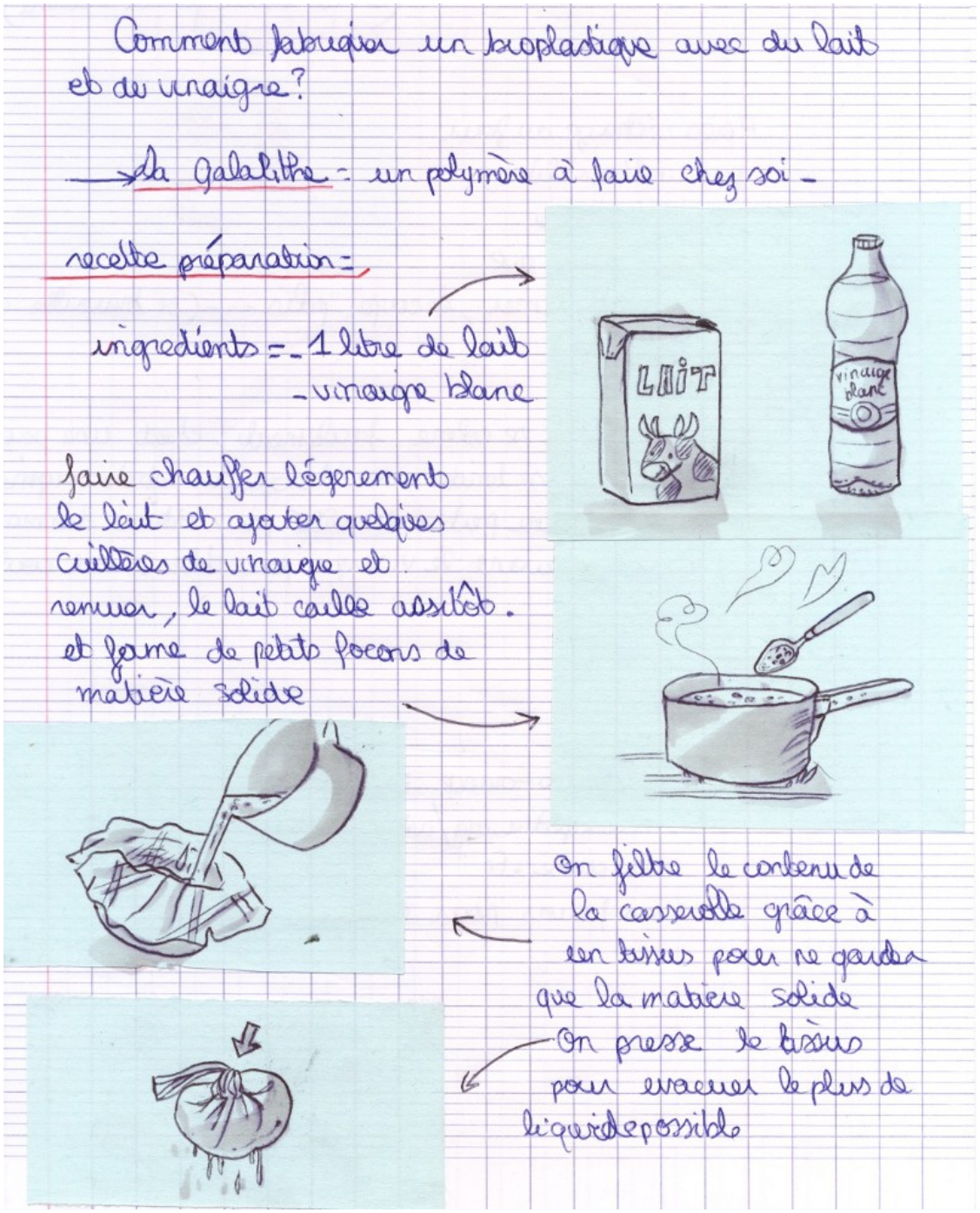
Ce protocole « historique » fait intervenir du formaldéhyde - désigné sous le terme « formol » dans les documents précédents - substance toxique à ne pas utiliser en classe. Nous allons donc nous inspirer de nouvelles procédures – proches de celles mises au point par des laboratoires universitaires français cités en annexe - pour fabriquer un bioplastique à partir du lait.

Ainsi, il peut être demandé aux élèves de chercher eux-mêmes des protocoles de fabrication d'un bioplastique à partir du lait.

Exemple de protocole :

- Dans un bécher de 250 mL, faire chauffer, sans le faire bouillir, environ 80 mL de lait.
- Lorsque le lait est chaud, retirer le bécher de la plaque chauffante et y verser 5,0 mL de vinaigre d'alcool (vinaigre blanc).
- Filtrer le mélange, en le versant doucement.
- Récupérer la pâte blanche dans une coupelle.
- La sécher en la pressant entre deux feuilles de papier absorbant.
- Ce plastique blanc est très facile à faire chez soi. Il durcit peu à peu et peut être travaillé puis peint avec une peinture acrylique.
- La caséine, protéine du lait lui donnant sa couleur blanche, précipite en milieu acide. En séchant, l'eau s'évapore et il ne reste que la caséine.

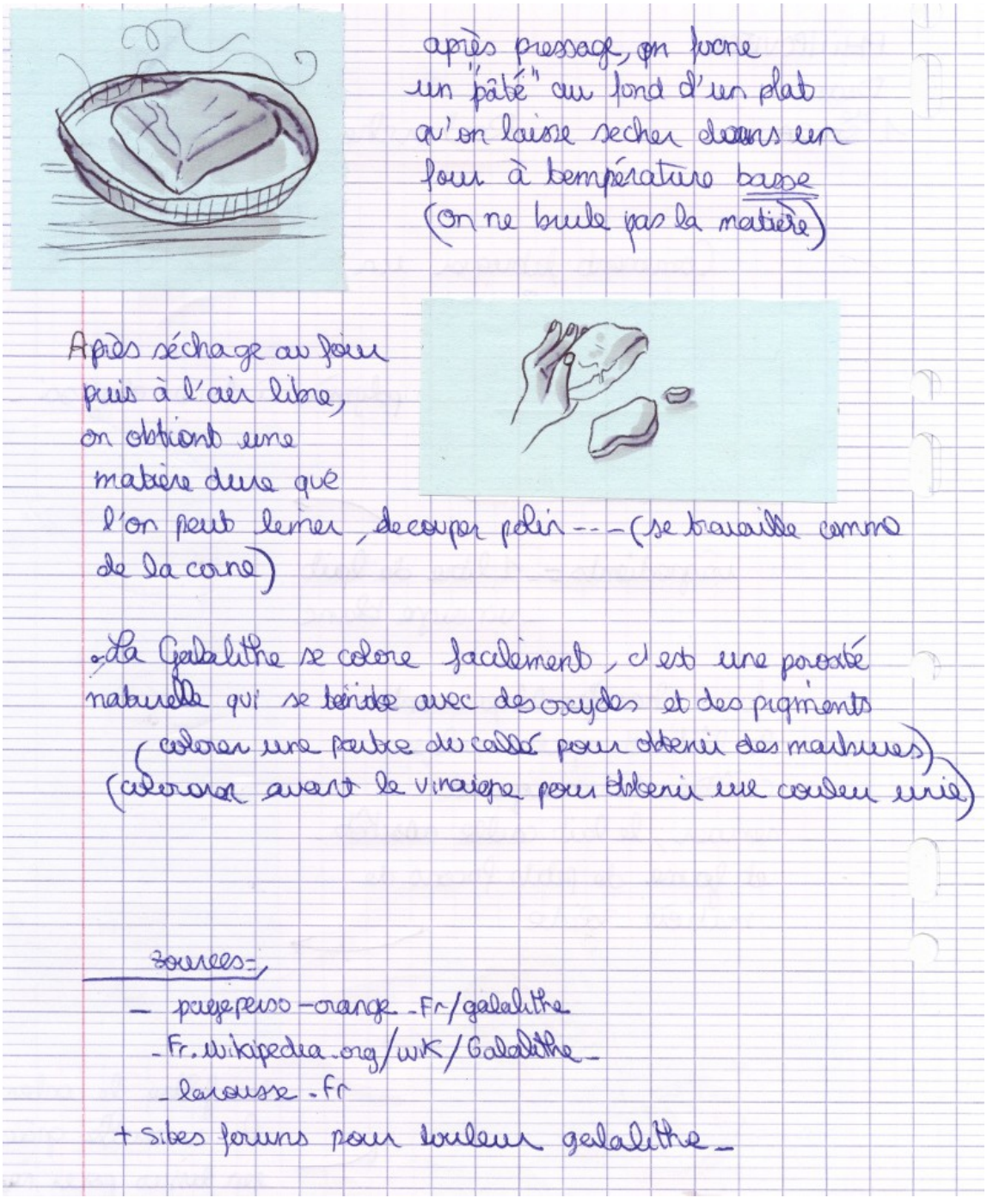
Exemple de fiche réalisée par une élève de 1ère STD2A



Crédit photographique : Joëlle Lenglet

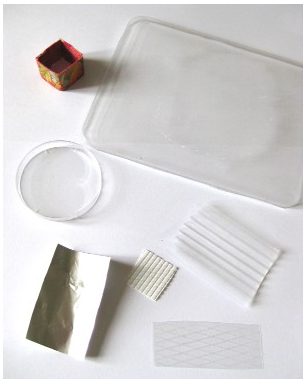
Autres pistes possibles de recherches de protocoles

Il peut être demandé aux élèves de trouver des protocoles de fabrication artisanale pour d'autres bioplastiques.



Fiche 3 : exemples de réalisations expérimentales

Crédits photographiques : Joëlle Lenglet et Elisabeth Néré



Crédit photographique : Joëlle Lenglet

Essais sur différents moules et supports : support lisse (plastique, verres de montre, papier aluminium...) ; support en relief (cannelure, supports striés, papier aluminium ...) ; moules de diverses natures.

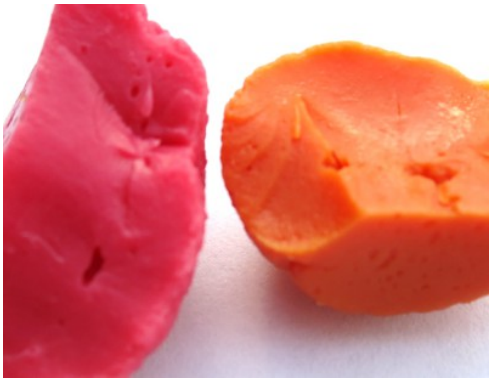


fig .1 Crédit photographique : Elisabeth Néré

fig .2 Crédit photographique : Joëlle Lenglet

Crédit photographique : Joëlle Lenglet

La durée et la température de séchage sont capitales pour les propriétés mécaniques du bioplastique : plus le séchage est lent et à température peu élevée plus le matériau est dur et résistant (voir fig1). Sinon, il peut-être fragile car rendu friable par des fissures, comme visible sur les visuels de la fig 2. Dans tous les cas, le matériau se rétracte fortement lors du séchage (fig 3)

Pour limiter les déformations, on peut malaxer le bioplastique dans les doigts en le pressant fortement pour éliminer un maximum d'eau. Après séchage, le matériau est alors très dur, très résistant et garde la forme donnée.

Crédit photographique Joëlle Lenglet. A gauche déformation au séchage, à droite absence de déformation. L'échantillon est très résistant.

Essais de traitement post-séchage : bouton et bijou ajouré, fraise peinte et morceau ciré, morceau incrusté de feuilles de conifère enlevées à certains endroits.

Crédit photographique : Joëlle Lenglet

Il est possible de fabriquer le polymère en plaques de 10 cm par 10 cm par exemple et de le travailler avec de petits forêts et meules pour modélisme ; il faut veiller à laisser une épaisseur de l'ordre de 5 mm ou plus lorsque le matériau est encore humide.

Pistes possibles à partir du matériau galalithe :

Il peut être demandé aux élèves d'étudier le vieillissement du matériau fabriqué en l'exposant à différentes contraintes météorologiques (soleil, froid, pluie…) ou physiques (compression, tension…). En s'inspirant de synthèses étudiées actuellement, on peut étudier l'intérêt d'ajouter un plastifiant comme de la glycérine pour obtenir du « lactinov ».

3. Dossier Couleur et échelles de teintes

Fiche 1 : lexique de la couleur

Documents exploitables professeurs/élèves

Extrait du site de la MANAA de Tréguier http://aasavina.free.fr / Pierre Royneau

Aplat : désigne une surface de couleur uniforme, sans nuances. Contraire de dégradé.

Camaïeux : peinture composée de différentes valeurs et nuances d'une même couleur.

Cassé : le terme « cassé » est surtout employé pour qualifier un blanc auquel on ajoute une infime quantité d'une couleur quelconque.

Complémentaires : couleurs opposées sur le cercle chromatique. Contraste le plus puissant après celui du noir et du blanc. Les trois paires principales : rouge/vert – bleu/orange – jaune/violet

Dégradé : passage progressif d'une valeur à une autre valeur, d'une couleur à une autre couleur.

Dominante : la dominante est la couleur qui domine par sa présence les autres couleurs. On peut aussi parler de dominante de couleurs vives, de dominante de couleurs foncées, etc.

Gris : les gris sont neutres, leur saturation est nulle. Ils ont une valeur (claire ou foncée). Cependant, la neutralité des gris est relative et dépend de l'ambiance colorée dont il est entouré. Ainsi un gris pourra paraître froid ou chaud selon son environnement coloré. Les gris colorés composent l'ensemble des couleurs dont la saturation est extrêmement faible. Le mélange de deux couleurs complémentaires et du blanc donne un gris coloré.

Mélange optique : couleur composée par accumulation de petits motifs (points, traits, lettres…) plus ou moins rapprochés les uns des autres.

Nuance : une nuance est chacun des degrés différents d'une même couleur.

Primaires : les trois couleurs primaires de la « couleur lumière » (en synthèse additive) sont : Rouge, Vert, Bleu. les trois couleurs primaires de la « couleur matière» (en synthèse soustractive) sont : Cyan, Magenta, Jaune.

Rabattu : on dit d'une couleur qu'elle est rabattue lorsqu'on lui ajoute du noir en plus ou moins grande quantité.

Rompu : on dit d'une couleur qu'elle est rompue lorsqu'on lui ajoute sa couleur complémentaire en plus ou moins grande quantité.

Saturation : la saturation est le degré de luminosité de la couleur. La saturation décrit la distance qui sépare les couleurs vives de leur décoloration complète soit vers le noir, soit vers le blanc.

Tonalité : impression d'un ensemble coloré.

Teinte ou ton : la teinte désigne ce qui est la couleur à proprement parlé, c'est à dire le vert, orangé…

Tonique : ce terme définit une couleur contrastant et occupant une surface très réduite par rapport à une dominante. Elle peut être la complémentaire de celle-ci. Une couleur très saturée amplifiera ce rôle.

Valeur : qualité d'un ton, plus ou moins foncé, plus ou moins clair. La valeur d'une couleur se modifie en lui ajoutant du blanc ou du noir. Rouge et vert sont de valeurs à peu près identiques.

Mélange optique : couleur composée par accumulation de petits motifs (points, traits, lettres etc.) plus ou moins rapprochés les uns des autres.

Crédit photographique Elisabeth Néré

Fiche 2 : exemples de gammes de couleurs en Design et Arts Appliqués

Documents professeurs

Gammes colorées établies à partir de visuels photographiques et exploitées dans un travail textile.
Travaux d'élèves, classe de Terminale, professeurs : Céline Mallet et Elisabeth Néré

Crédit photographique : Elisabeth Néré

Crédit photographique : Elisabeth Néré

Crédit photographique : Elisabeth Néré

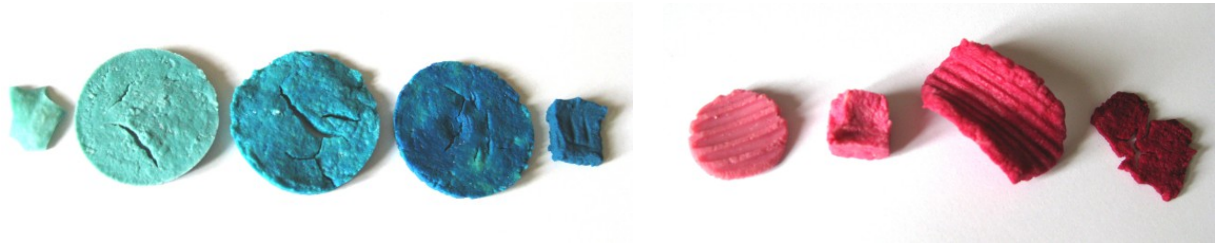
Crédit photographique : Elisabeth Néré

Fiche 3 : couleur et bioplastique, fabrication d'une échelle de teintes.

Documents professeurs

Crédits photographiques : Joëlle Lenglet et Elisabeth Néré

Le bioplastique obtenu peut être coloré avec des colorants, des pigments alimentaires, ou avec des indicateurs colorés ; les effets peuvent être différents selon le moment où le colorant est introduit (teinte uniforme si le colorant est introduit dans le lait chaud avant d'ajouter le vinaigre ; effets moirés si le colorant est introduit après l'ajout de vinaigre dans le lait chaud) ; Si elle n'est pas teintée dans la masse, le bioplastique se peint facilement à la gouache, à la peinture acrylique ou peut être cirée.



Échelle de teintes bleues / colorant bleu patenté V (E 131) échelle de teintes magenta / colorant azorubine (E 122)

Migration des colorants jaune et vert au sein de l'échantillon lors du séchage

Crédit photographique : Joëlle Lenglet

Préparation de l'échelle de teintes

Pour chaque échantillon, on peut utiliser deux colorants dont on pourra faire varier les proportions de façon à réaliser une échelle de teintes.

Crédit photographique ! Joëlle Lenglet

Concevoir le protocole de fabrication d'une gamme colorée en galalithe :

Avec les élèves, le scénario pédagogique peut les mettre en situation de recherche. On peut leur demander de construire une échelle de teintes régulière allant du jaune au magenta et d'observer les échantillons (humides, puis secs) pour conclure sur le pouvoir colorant du magenta.

Crédit photographique : Joëlle Lenglet

La gamme présentée ci-après est réalisée avec environ 95 mL de lait chauffé à 40°C et 8 mL de vinaigre blanc. Les colorants jaune (tartrazine E102 solution à 1%) et magenta (azorubine E122 solution à 1%) sont versés dans le lait chaud, puis le vinaigre est ajouté. La filtration a lieu sur un filtre à café et le solide est pressé dans les mains pour enlever un maximum de liquide. Les quantités de colorants sont mesurées en nombre de

gouttes, obtenues avec un compte-gouttes en plastique, le volume des gouttes étant assez reproductible. Pour les 11 échantillons allant du jaune au magenta, les quantités de colorants sont les suivantes :

Échantillon	1	2	3	4	5	6	7	8	A	B	C
Nombre de gouttes de jaune E102	1	2	3	4	5	6	10	10	1	1	-
Nombre de gouttes de magenta E122	1	1	1	1	1	1	1	-	2	3	3

Crédit photographique : Joëlle Lenglet

Photo après séchage partiel

Crédit photographique : Elisabeth Néré

Photo après séchage total

Crédit photographique : Elisabeth Néré

Dégradé de couleurs allant du jaune au rose en utilisant les colorants jaune (tartrazine E102) et magenta (azorubine E122).

Crédit photographique : Joëlle Lenglet

Crédit photographique : Joëlle Lenglet

Ce n'est pas une vraie échelle de teintes : les volumes de lait et de vinaigre sont fixés, mais il n'y a pas le même nombre de gouttes de colorant. Il y a un maximum de 3 gouttes de magenta contre 7 de jaune dans les mélanges réalisés. Le pouvoir colorant du magenta est donc bien supérieur à celui du jaune.

Le matériau a été moulé sous forme de boules ou d'un boudin (comme les plastiques classiques formés par des boudineuses).

Crédit photographique : Joëlle Lenglet

Photo après séchage partiel

Crédit photographique : Elisabeth Néré

Photo après séchage total

La couleur est instable au séchage : le boudin sèche plus vite que la boule correspondante, comme cela est visible sur les visuels ci-dessus.

Crédit photographique : Elisabeth Néré

Mise en évidence du pouvoir colorant du magenta. La moindre trace de colorant magenta dans le mélange jaune + magenta teinte le matériau en orangé.

Crédit photographique : Elisabeth Néré

Échelle de teintes dans l'eau :

Les colorants E102 et E122 sont dilués dans un même volume d'eau contenu dans des tubes à essais, de sorte que le nombre total de gouttes de colorants (obtenues avec un compte-gouttes en plastique) reste le même.

Tube	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nombre de gouttes de jaune E102	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	-
Nombre de gouttes de magenta E122	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Crédit photographique : Joëlle Lenglet

Le pouvoir colorant du magenta est bien supérieur à celui du jaune, les couleurs orangées obtenues étant nombreuses et très proches les unes des autres.

<u>Autres pistes possibles autour de la couleur</u>

Il peut également être demandé aux élèves de fabriquer des colorants naturels à partir d'épices, de boissons, de légumes… Cet exercice peut être effectué par exemple en cours de Design et Arts Appliqués, et les résultats de ces recherches être étudiés en cours de Physique Chimie.

Exemple d'un atelier « teinture naturelle » en cours de Design et Arts Appliqués/ Marianka Baude

Crédit photographique : Marianka Baude

Crédit photographique : Marianka Baude

Crédit photographique : M. Baude

Bibliographie et sitographie

Sur la question des matériaux :

- KULA Daniel, TERNAUX Élodie. *Materiology : the creative industry's guide to materials and technologies*. Birkhäuser Publishers, décembre 2008, 344 p. ISBN : 978 3764384241
- MatériO Paris. *L'inspiration par la matière* **[en ligne]**. Disponible sur : <www.materio.fr> (Consulté le 07/01/2013).

Matériauthèque physique en ligne, sur abonnement.

MatériO est un service professionnel indépendant de veille sur l'innovation dans le domaine des matériaux et des technologies. C'est à la fois une bibliothèque physique d'échantillons de matériaux émergents et une base de données informatique. L'indépendance du service vis à vis des industriels référencés dans la base de données garantit l'objectivité de la sélection.

- ZAMBONI Agnès. *Matières et design*. Éditions de la Martinière, octobre 2010, 286 p. ISBN : 978 2732442723

Sur la question des matériaux écologique et du développement durable :

- INNOVATHÈQUE. Matières à cultiver. Février à Septembre 2010, Cité du Design de Saint Etienne

Dossier pédagogique à consulter pour des textes théoriques, des lexiques précis, des exemples d'usages des éco-matériaux dans le design contemporain.

- Le blog Eco-Design. Disponible sur : <http://leblogecodesign.fr> (Consulté le 07/01/2013).

Sur la question du bioplastique, quelques références sur l'état des recherches universitaires théoriques, appliquées et plus dirigées vers le grand public :

- BELYAMANI I. *Développement d'un matériau thermoplastique, biodégradable et hydrosoluble à base d'une protéine du lait. Chimie et science des matériaux.* Thèse de doctorat d'université. Saint-Étienne : Université Jean Monnet, 2012, 204 p. Disponible sur <www.scd.unilim.fr/theses/bibliographie.pdf> (Consulté le 26/04/2013).
- BRIGANDO J. *La caséine et ses dérivés plastiques. Lait*, 1941, Volume 21, Number 201-203. Disponible sur <http://dx.doi.org/10.1051/lait:1941201-2034> (Consulté le 26/04/2013).
- NONO DJAMEN M.C. *Étude structurale et rhéologique des systèmes mixtes caséinates/carraghénanes. Chimie et physico-chimie des polymères*. Thèse de doctorat d'université. Le Mans : Faculté du Maine, 2011, 167 p. Disponible sur <http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/65/20/71/PDF/NONODJAMEN_V2.pdf> (Consulté le 26/04/2013).
- Sciences buddies. *Facilitator/Educator Guide: Turn Milk into Plastic!* Disponible sur <www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/Classroom_Activity_Teacher_MilkPlastic.shtml> (Consulté le 26/04/2013).
- Forez info. *Du lait dans le plastique*. Disponible sur <www.forez-info.com/actualite/divers/15153-du-lait-dans-le-plastique.html> (Consulté le 26/04/2013).

A propos des exemples cités :

- KNECHT Tété. Disponible sur : <www.teteknecht.com> (Consulté le 07/01/2013)
- LA CUISINE. 2012. Disponible sur <www.la-cuisine.fr/la-part-des-anges-duende-collective> (Consulté le 07/01/2013).
- QMILCH. *The fiber made of white gold!* Disponible sur : <www.qmilk.eu> (Consulté le 07/01/2013).

Sur la question de la couleur :

- VALEUR Bernard. *La couleur dans tous ses éclats*. Paris : Belin, 2011, 128 p. ISBN 978 2701158761
- Les Abattoirs. *Hissons nos couleurs !* décembre 2010 – janvier 2011 Centre Culturel Alban Minville, Toulouse. Dossier pédagogique disponible sur : www.lesabattoirs.org/enseignants/dossiers/2011/horslesmurs/couleur.pdf